

1/5/1
DIALOG(R) File 351:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

A2

011011790 **Image available**
WPI Acc No: 1996-508740/199651
XRPX Acc No: N96-428623

Freezing and cooling refrigeration equipment using non- azeotropic
refrigerant mixture - uses calculating control device to control ability
of compressor, expansion valves and heat exchangers based on detection
result of refrigerant cycle composition detector

Patent Assignee: MITSUBISHI ELECTRIC CORP (MITQ)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 8261576	A	19961011	JP 9567949	A	19950327	199651 B

Priority Applications (No Type Date): JP 9567949 A 19950327

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 8261576	A	15	F25B-001/00	

Abstract (Basic): JP 8261576 A

The equipment consists of a compressor (1) connected to a heat source side heat exchanger (3) and use side heat exchangers (51,52) through a channel switching valve (2) and a set of expansion valves (41-43). Part of the liquid refrigerant and the heat source side heat exchanger is bypassed through a sub-cooling coil (9) to an accumulator (6) with a variable throttle (8) for sub-cooling the liquid refrigerant supplied to a use side heat exchangers. The temperature of the heat source side heat exchanger is detected by a temperature sensor (19).

The saturation pressure and the temperature of the compressor suction is detected by a pressure sensor (12) and a first temperature sensor (11). The temperatures of the sub-cooling coil outlet and the outlet of a capillary (7) in the bypass line between the liquid line and the accumulator are detected by set of temperature sensors (15,13) respectively. The liquid temperature layer and after sub-cooling and the use side heat exchanger side temperatures are also detected by temperature sensors respectively. A pair of controllers (101,102) detect the cyclic composition of the refrigerant mixture from the values of various temperature and pressure detector.

ADVANTAGE - Responds to composition change of refrigerant. Obtains stable performance. Controls cyclic composition of refrigerant accurately. Facilitates refrigerant charging correctly.

Dwg.1/12

Title Terms: FREEZE; COOLING; REFRIGERATE; EQUIPMENT; NON; AZEOTROPE;
REFRIGERATE; MIXTURE; CALCULATE; CONTROL; DEVICE; CONTROL; ABILITY;
COMPRESSOR; EXPAND; VALVE; HEAT; EXCHANGE; BASED; DETECT; RESULT;
REFRIGERATE; CYCLE; COMPOSITION; DETECT

Derwent Class: Q75; X27

International Patent Class (Main): F25B-001/00

International Patent Class (Additional): F25B-013/00

File Segment: EPI; EngPI

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-261756

(43) 公開日 平成8年(1996)10月11日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 C 7/04			G 0 1 C 7/04	
G 0 1 B 11/24			G 0 1 B 11/24	K
G 0 1 C 15/00			G 0 1 C 15/00	A
G 0 6 T 1/00			G 0 8 G 1/16	C
9/20			G 0 5 D 1/02	K
審査請求 未請求 請求項の数 3 C L (全 27 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平7-291373

(22) 出願日 平成7年(1995)11月9日

(31) 優先権主張番号 特願平6-276594

(32) 優先日 平6(1994)11月10日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地
地の1

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 高橋 新

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

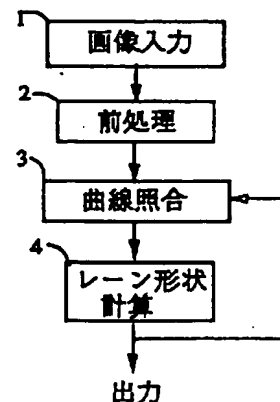
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走行レーン認識装置

(57) 【要約】

【課題】 周辺構造物や路面マーク等の紛らわしい線が多く、道路のカーブがきつい場合でも精度よく走行レーンを検出する。

【解決手段】 画像入力手段1で入力した画像から前処理2によってエッジ線分を抽出した後、曲線照合手段3に入力する。曲線照合手段3は前の演算時のレーン形状パラメータとその分散値に基づいて画像上に曲線の帯状の探索領域を設定し、その領域内のエッジ線分をレーン境界候補として選択し、レーン形状計算手段4に供給する。レーン形状計算手段4は、選択エッジ線分によりレーン形状パラメータとその分散を計算、更新する。そこで、レーン形状パラメータの分散に基づいて、探索領域の幅を適切に狭めることができ、紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 道路画像を撮像する画像入力手段と、
得られた画像における濃淡の勾配の大きさと方向の少なくとも一方に基づいて、曲線を含むエッジ線分を抽出する前処理手段と、

前回の演算時におけるレーン形状パラメータとその分散に基づいてレーン境界の範囲を推定すると共に、推定された範囲に基づいて抽出されたエッジ線分の中からレーン境界候補を選択する曲線照合手段と、

そのレーン境界候補からレーン形状を特定するレーン形状パラメータと、その分散を計算するレーン形状計算手段と、

を備えたことを特徴とする走行レーン認識装置。

【請求項2】 道路画像を撮像する画像入力手段と、
得られた画像における濃淡の勾配の大きさと方向の少なくとも一方に基づいて、曲線を含むエッジ線分を抽出する前処理手段と、

抽出されたエッジ線分の中から、その濃淡変化が白線に対応するエッジ線分対である白線エッジ線分を選択する白線選択手段と、

前回の演算時におけるレーン形状パラメータとその分散に基づいてレーン境界の範囲を推定すると共に、推定された範囲に基づいて選択された白線エッジ線分の中からレーン境界候補を選択する第1曲線照合手段と、

前回の演算時におけるレーン形状パラメータとその分散に基づいてレーン境界の範囲を推定すると共に、推定された範囲に基づいて白線以外のエッジ線分の中からレーン境界候補を選択する第2曲線照合手段と、

第1および第2曲線照合手段において得られたレーン境界候補の中で位置的に競合するものについてより確からしいものを選択するレーン境界選択手段と、

選択されたレーン境界候補からレーン形状を特定するレーン形状パラメータと、その分散を計算するレーン形状計算手段と、

を備えたことを特徴とする走行レーン認識装置。

【請求項3】 道路画像を撮像する画像入力手段と、
得られた画像における濃淡の勾配の大きさと方向の少なくとも一方に基づいて、曲線を含むエッジ線分を抽出する前処理手段と、

前回の演算時に得られたレーン形状パラメータとその分散に基づいて、車両近傍のレーン境界の範囲を推定すると共に、推定された範囲に基づいて抽出されたエッジ線分の中から車両近傍のレーン境界候補を選択する近傍曲線照合手段と、

得られた車両近傍のレーン境界候補から車両近傍のレーン形状を特定するレーン形状パラメータと、その分散を計算する近傍レーン形状計算手段と、

近傍レーン形状計算手段で得られたレーン形状パラメータとその分散に基づいて、遠方におけるレーン境界の範囲を推定すると共に、推定された範囲に基づいて抽出さ

れたエッジ線分の中から遠方のレーン境界候補を選択する遠方曲線照合手段と、

得られた遠方のレーン境界候補から遠方のレーン形状を特定するレーン形状パラメータと、その分散を計算する遠方レーン形状計算手段と、

を備えたことを特徴とする走行レーン認識装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は車両に搭載して、撮像して得た画像を処理することによってレーン形状やレーンに対する位置姿勢を認識する走行レーン認識装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、車両に搭載されて、走行レーンを認識する走行レーン認識装置が知られている。この走行レーン認識装置は、自律走行移動車において操舵制御を行う自動走行制御装置、走行状態をチェックして警告を発するドライバー警報装置、ドライバーによる操舵など運転操作の補助を行うドライバー支援装置等に利用される。

【0003】この走行レーンの検出には、電磁誘導方式や、画像処理方式等があり、電磁誘導方式では、道路に電波発信するケーブルを埋設しておき、車両に設けられたコイルに誘起される電流を検出して、走行レーンを検出する。従って、電磁誘導方式では、道路にケーブルを敷設しなければならないという問題がある。一方、白線検出方式では、テレビカメラで得た画像情報を処理して、白線を検出する。従って、現存する道路における走行レーンの検出にも適用できるという効果がある。しかし、画像情報には、白線以外の情報もたくさん含まれており、いかに正確に白線を認識するかが重要な課題になる。

【0004】従来の走行レーン認識装置としては、Hough変換を使用して、レーン境界を検出するものがある。この装置においては、車載カメラから道路画像を入力し、輪郭線抽出した後、Hough変換によって直線を検出する。そして、車両がレーン中央をレーンに沿って走行していることを仮定して適切な直線をレーン境界として認識する。

【0005】また、特開平4-36878号では、ウィンドウを設定するものが示されている。この走行路検出装置においては、車載カメラから道路画像を入力して、レーンマークや道路端を直線式として検出するが、この際に前回の演算時における直線式の近傍に予め設定した固定パラメータで大きさの定まるウィンドウを設定しておく。そして、このウィンドウの中でエッジ点の座標を計測し、それらのエッジ点を直線近似し、直線式を求め、さらにノイズに対するロバスト性を向上させるため直線式に時間フィルタリングを加える。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来装置では、基本的に道路周辺に構造物（建物、ガードレール）や他車両等のノイズが少ないことを仮定している。この仮定は主に高速道路に当てはまる。しかし、一般路では周辺構造物（ガードレール、建物）や路面マーク（横断歩道）等の紛らわしい線が多い。さらに、高速道路に比べて一般路の方が道路のカーブもきつい（道路曲率が大きい）。従って、十分正確な白線検出（走行レーン認識）が行えないという問題点があった。

【0007】すなわち、上述したHough変換を利用する方法では、基本的に直線しか扱えないため、カーブのきつい一般路への適用は難しい。また、一般路の画像ではレーン境界に近接した線が多いため、その選択が困難であるという問題点があった。

【0008】また、特開平4-36878号に記載の方法においても、一般路の画像ではウインドウ内にレーン境界に近接した線が多いため、その選択が困難である。レーン境界とそれに近接したノイズ線を誤認することにより、レーンの計測精度が劣化するという問題点があった。

【0009】本発明は上記の問題点を解決することを課題としてなされたものであり、周辺構造物や路面マーク等の紛らわしい線が多く、道路のカーブがきつい場合でも、精度良く走行レーンの検出ができる装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明においては、特許請求の範囲に記載するように構成している。

【0011】図1は、請求項1の発明の構成を示すブロック図である。まず、図1において、画像入力手段1は、道路画像を撮像するものであり、例えば車載TVカメラである。また、前処理手段2は、画像入力手段1からの信号を入力して、画像上のエッジ線を抽出するものである。エッジ線分は、画像上のモノクロ濃淡値の明暗の境界線（濃淡値の勾配の稜線）であり、レーン境界の候補となる線分で、直線または曲線である。次に、曲線照合手段3は、後記するレーン形状計算手段4で前の演算時に計算されたレーン形状パラメータと、その分散に基づいて、画像上のレーン境界位置と角度の範囲を推定する。そして、前処理手段2で抽出されたエッジ線分から、前記推定範囲に含まれるエッジ線分をレーン境界候補として選択する。最後に、レーン形状計算手段4は、曲線照合手段3で選択したエッジ線分からレーンを特定するレーン形状パラメータと、その分散を計算する。

【0012】請求項1の発明においては、エッジ線分の観測に基づく、レーン形状パラメータおよびその分散の算出を繰り返し、これが次の曲線照合に利用される。従って、レーン形状計算手段4が、この計算を繰り返す

ことにより、レーン形状パラメータの分散が適切な値へ収束する。曲線照合手段3は、レーン形状パラメータの分散に基づいて画像上のエッジ線分の推定範囲を設定しているため、推定範囲の幅を適切に狭められる。これにより、紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる。

【0013】図2は、請求項2の発明の構成を示すブロック図である。まず、図2において、画像入力手段1は、道路画像を撮像するものであり、例えば車載TVカメラである。また、前処理手段2は、画像入力手段1からの信号を入力して、画像上のエッジ線を抽出するものである。次に、白線選択手段5は、前処理手段2で抽出されたエッジ線分から、レーン境界の候補となる白線のエッジ線分対（白線の左右エッジを構成するエッジ対）を選択して第1曲線照合手段3へ出力する。さらに、白線選択手段5は、前処理手段2で抽出されたエッジ線分から、白線のエッジ線分対を差し引いたエッジ線分を第2曲線照合手段6へ出力する。次に、第1曲線照合手段3は、後記するレーン形状計算手段4で前の演算時に計算されたレーン形状パラメータとその分散に基づいて、白線選択手段5から出力された白線のエッジ線分からレーン境界候補のエッジ線分を選択する。次に、第2曲線照合手段6は、後記するレーン形状計算手段4で前の演算時に計算されたレーン形状パラメータとその分散に基づいて、白線選択手段5から出力された非白線のエッジ線分からレーン境界候補のエッジ線分を選択する。次に、レーン境界選択手段7は、第1曲線照合手段3と第2曲線照合手段6から入力されたレーン境界候補のエッジ線分から、白線の特徴と長さの属性などに基づいてレーン境界の可能性の大きいエッジ線分を選択する。最後に、レーン形状計算手段4はレーン境界選択手段7で選択したエッジ線分からレーン形状パラメータとその分散を計算する。

【0014】請求項2の発明においては、一般的にレーン境界が白線であるという情報を利用して、白線選択手段5と第1曲線照合手段3とレーン境界選択手段7により白線のエッジ線分を優先的に処理することにより、紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる効果がある。

【0015】図3は、請求項3の発明の構成を示すブロック図である。まず、図3において、画像入力手段1は、道路画像を撮像するものであり、例えば車載TVカメラである。また、前処理手段2は、画像入力手段1からの信号を入力して、画像上のエッジ線を抽出するものである。次に、白線選択手段5は、前処理手段2で抽出されたエッジ線分から、レーン境界の候補となる白線のエッジ線分対を選択し記憶する。白線エッジ線分と非白線エッジ線分とはともに近傍曲線照合手段21と遠方曲線照合手段23へ出力される。次に、近傍曲線照合手段21は、前回の演算時に近傍レーン形状計算手段22

および遠方レーン形状計算手段24においてそれぞれ更新された車両近傍および遠方のレーン形状パラメータとその分散に基づいて、車両近傍のレーン境界候補のエッジ線分を選択し、近傍レーン形状計算手段22へ出力する。次に、近傍レーン形状計算手段22は、近傍曲線照合手段21で選択したレーン境界候補のエッジ線分から車両近傍のレーン形状に関わるレーン形状パラメータとその分散を更新する。

【0016】次に、遠方曲線照合手段23は、前記した近傍レーン形状計算手段22で更新されたレーン形状パラメータとその分散に基づいて、遠方のレーン境界候補のエッジ線分を選択し直し、遠方レーン形状計算手段24へ出力する。次に、遠方レーン形状計算手段24は遠方曲線照合手段23で選択したレーン境界候補のエッジ線分から遠方のレーン形状に関わるレーン形状パラメータとその分散を更新する。

【0017】請求項3の発明においては、一般的に道路画像上では遠方より車両近傍の方がレーン境界と他の構造物（ガードレール、車両）との誤認が少なく、精度が高いという性質を利用して、近傍曲線照合手段21と近傍レーン形状計算手段22により車両近傍のレーン境界から車両近傍に関わるレーン形状を先に処理する。これにより、遠方曲線照合手段23において遠方のレーン境界の探索範囲をより狭めることが可能となり、紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる効果がある。

【0018】これを図4（A）、（B）に基づいて説明する。図4（A）に示すように、近傍曲線照合手段21では、前回の演算時に推定されたレーン形状パラメータと分散からレーン境界候補の探索範囲を設定するため、遠方によく似た白線エッジa）、b）が存在した場合に、どちらかを選択することができない。しかし、車両近傍のエッジ線分を観測することにより近傍レーン形状計算手段22でレーン形状パラメータとその分散を更新すれば、よりその分散の値を小さくすることができ、レーン境界の探索範囲を狭めることができる。よって、エッジ線分a）を遠方のレーン境界候補として選択することができ、エッジ線分b）との誤認を防ぐことができる。

【0019】さらに、上述の説明では、近傍と遠方の2つの範囲を設定し、まず近傍の範囲で、レーン形状パラメータと分散を算出し、その次に近傍算出結果に基づいて遠方のレーン形状パラメータと分散を算出した。しかし、範囲を2種類でなく、多数（例えば、10）にし、順次遠方の範囲の演算を行えば、さらに誤認の少ない走行レーン認識を行うことができる。

【0020】

【発明の実施の形態】

【第1実施形態】図5は、本発明の一実施形態のブロック図である。図5において、画像入力8は車載TVカメラ

ラであり、道路画像を撮像して信号に変換する。また、前処理9と、白線選択10と、曲線照合11、12とレーン境界選択13とレーン形状計算14は、例えばマイクロコンピュータで構成され、車載TVカメラ8からの信号を入力して画像処理を行ない、走行路（走行レーン）を検出する。出力結果は図示していない外部装置へ送られ、ドライバー支援装置やドライバー警報装置や自律走行移動車の制御等へ適用される。各処理部の説明を以下に述べる。なお、本実施形態では、車載TVカメラ8は車体の中心軸とカメラの中心軸が一致するように、水平に前向きで取り付けるものとする。

【0021】「前処理」前処理9は、車載TVカメラ8によって得られた実画像（濃淡画像）からエッジ線分を画像処理によって抽出する。エッジは画像中の濃淡値が急激に変化する部分である。エッジ抽出には幾つかの方法があるが、本実施形態では以下のステップで実施する。

【0022】S1. 濃淡画像取り込み

まず、カメラにより取り込んだ濃淡画像をA/D変換により計算機に取り込む。1画面の画像情報がマトリクス状に配列された画素毎デジタル値として取り込まれる。

【0023】S2. Sobelフィルタ

取り込んだ濃淡画像にSobelフィルタを適用し、濃淡勾配の方向と大きさを演算する。

【0024】S3. 稜線抽出処理

濃淡勾配の大きさの嶺の部分（極大点のならば）を抽出する。

【0025】S4. 線分追跡処理

画像上の稜線を追跡し、エッジ線分（点列）のリストとして表現する。

【0026】このようにして、エッジ線分がリストとして得られる。ここで、このエッジ線分は以下の情報を持つ。これらの情報は後の処理で利用される。

【0027】

- ・エッジ線分の始点終点の撮像面上の座標値
- ・エッジ線分を構成する点の数
- ・濃淡勾配の大きさと方向
- ・エッジ線分を構成する点の撮像面上の座標値

「白線選択」白線選択は、前処理により抽出したエッジ線分から、白線の両端に対応するエッジ線分対を選択する。この白線選択の処理手順は以下の通りである。

【0028】S1. 短い線および水平線の除去

まず、エッジ線分リストから以下の線分を除去する。

【0029】（短いエッジ線分）白線はある程度の長さを有しており、エッジ線分を構成する点の数が設定閾値以下の短いエッジ線分は、白線の両端に対応する線分でないと考えられるからである。

【0030】（水平線）水平線は、始点と終点のY'座標値（座標系については後述）が等しいエッジ線分である。水平線は道路周囲の建物や先行車両を構成する線で

ある可能性が高いからである。ただし、道路が曲がっている場合、遠方のレーン境界は水平に近くなる。このレーン境界を除去しないように始点と終点のY'座標値に差があるエッジ線分は除去しない。

【0031】S2. 白線の特徴による選択

次に、エッジ線分リストから白線の特徴を有するエッジ線分対を選択する。このエッジ線分対とは、エッジ線分の濃淡勾配の方向が互いに反対で、画像上のエッジ線分の傾きが平行で、エッジ線分間の距離が白線幅（通常0.15m）程度である条件を満たすエッジ線分である。

【0032】S3. リストの作成

以上のS1-S2の処理により、前処理から入力されたエッジ線分リストから白線のエッジ線分リストと非白線のエッジ線分リストを作成する。

【0033】「曲線照合」曲線照合では、白線選択から入力された白線または非白線のエッジ線分リストからレーン境界の候補のエッジ線分を選択する。

【0034】前回のレーン形状計算の計算結果からレーン形状パラメータとその分散が既知であるか、その推定値が得られていることを仮定する。このレーン形状パラメータとその分散から推定されるレーン境界位置の範囲を撮像面上に投影する（後述する式（8）参照）。そして、図6に示すように、レーン境界位置の推定範囲内にあるエッジ線分をレーン境界候補として選択する。このように、エッジ線分を予め設定した間隔で区切り、その節となる点a、点b、…がレーン境界位置の推定範囲内にあれば、そのエッジ線分をレーン境界候補とする。この方法によれば、図6に示す曲線であっても容易に判定することができる。また、画像上に十分な長さのレーン境界エッジ線分を観測するか、または長時間にわたってレーン境界エッジ線分を観測するならば、前記の分散は小さくなり、レーン境界位置の推定範囲は十分に狭めることができる。

【0035】「座標系とレーン形状の表現」座標系とレ*

$$x' = f y / z = f [a_3 x^2 + a_2 x + \theta + (e \pm 0.5 w_r) x^{-1}] \quad (1)$$

ただし、±の符号は正の場合は右レーン境界、負の場合は左レーン境界を示す。

【0042】図8にレーン境界の撮像面上のY'座標値を示す。これによりY'軸上の値y'は、次の式（2）のように表される。

【0043】

【数2】

$$y' = f(h - \phi z) / z = f(h z^{-1} - \phi) \quad (2)$$

このとき、hはカメラ高さ、fはTVカメラの焦点距離である。

【0044】「レーン境界形状パラメータとの照合」レーン境界推定位置からエッジ線分までの距離の標準偏差※

$$x'_c = f y / x_c = f [a_3 x_c^2 + a_2 x_c + \theta + (e \pm 0.5 w_r) x_c^{-1}] \quad (3)$$

* ーン形状の表現について説明する。以下の計算のため、次の2つの座標系を設定する。

【0036】（座標系1 車体座標系）自転車周辺の路面が局所的に平面上にあると仮定する。このとき、車載カメラの位置を平面上に投影した点を原点として、レーン境界接線方向をX軸、その横方向をY軸、鉛直方向をZ軸にとったXYZ直交座標系を設定する。以後、これを車体座標系と呼ぶ。

【0037】（座標系2 撮像面上の座標系）撮像面の中央を原点にとり、縦方向をY'座標軸、横方向をX'座標軸とした直交座標系を設定する。X'座標軸は撮像面から焦点位置へ向かって左側を正にとり、Y'座標軸は上を正にとる。以後、これを撮像面上の座標系と呼ぶ。

【0038】次に、レーン形状のパラメータを以下に示す。

【0039】

e : 車両とレーン中心との位置偏差 [m]

w_r : レーン幅 [m]

θ : ヨー角（カメラ中心軸からレーン境界接線方向への角度）[rad]

φ : 画像の縦揺れ（カメラ中心軸から走行平面に平行な方向への角度）[rad]

a_2 : レーン形状を3次関数で表現した場合の2次のパラメータ。道路曲率に対応する項

a_3 : レーン形状を3次関数で表現した場合の3次のパラメータ。2次曲率に対応する項。

【0040】以上のレーン形状パラメータで表現したレーン境界の撮像面上の座標系に対する投影を考える。このとき、車載カメラは車体の中心軸と一致するように設定すると仮定する。図7にレーン境界の撮像面上のX'座標値を示す。これにより、X'軸上の値x'は、次の式（1）のように表される。

【0041】

【数1】

※σmを求め、この値に基づいて照合を行う。すなわち、図9に示すように、白線選択から入力された白線または非白線のエッジ線分リストの中のエッジ線分から、レーン境界推定位置からの距離ασm以内のエッジ線分を選択し、レーン境界の候補とする。ただし、αは1~3程度の値である。

【0045】ここで、車体座標系のX座標値がx_cの場合、撮像面上のレーン境界の推定位置は式（3）と式（4）で計算される。

【0046】

【数3】

【数4】

$$y'_c = f(h + \phi x_c)/x_c = f[hx_c^{-1} + \phi] \quad (4)$$

車体座標系のX座標値が x_c の場合の撮像面上のレーン境界の推定接線角度 ω_m は式(5)で計算される。 * 【0047】

$$\begin{aligned} \omega_m &= \tan^{-1} \left[\frac{dx'}{dx} \frac{dy}{dy'} \Big|_{x=x_c} \right] \\ &= \tan^{-1} [(-2a_3x_c^3 - a_2x_c^2 + e \pm 0.5\omega_r)/h] \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、±の符号は左レーン境界の接線角度を計算する場合は負、右レーン境界の接線角度を計算する場合は正である。

【0048】次に、車体座標系のX座標値が x_c の場合の撮像面上のレーン境界の推定範囲の σ_m の計算式を以下に示す。 σ_m は点(x'_c, y'_c)から観測されるレーン境界エッジ線分までの距離の標準偏差を示す。この距離は接線角度 ω_m に垂直な方向へとる。 *

※【0049】レーン形状のパラメータの標準偏差(分散値の平方根)と式(3)より、式(6)が得られる。この式より、X'座標方向の観測されるレーン境界エッジ線分とレーン形状との間の距離の標準偏差 $\sigma_{x'}$ が計算できる。

【0050】
【数6】

$$\sigma_{x'} = f \sqrt{(\sigma_{a_3} x_c^3)^2 + (\sigma_{a_2} x_c^2)^2 + (\sigma_e)^2 + (\sigma_\theta/x_c)^2 + (0.5\sigma_\omega/x_c)^2 + (\sigma_{ox'}/f)^2} \quad (6)$$

また、レーン形状のパラメータの標準偏差を式(4)へ ★る。

代入することにより、式(7)が得られる。この式より、Y'座標方向の観測されるレーン境界エッジ線分とレーン形状との間の距離の標準偏差 $\sigma_{y'}$ が計算でき ★

$$\sigma_{y'} = \sqrt{(f\sigma_\phi)^2 + \sigma_{oy'}^2} \quad (7)$$

そして、 $\sigma_{x'}$ と、 $\sigma_{y'}$ の接線角度 ω_m に垂直な成分を加算することにより、式(8)で σ_m が計算できる。☆ 【0052】
【数8】

$$\sigma_m = |\sigma_{x'} \cos \omega_m| + |\sigma_{y'} \sin \omega_m| \quad (8)$$

ただし、

f : 焦点距離

σ_m : レーン形状と観測されるレーン境界エッジ線分との間の距離の標準偏差

σ_ϕ : ϕ の標準偏差

σ_{a_3} : a_3 の標準偏差

σ_{a_2} : a_2 の標準偏差

σ_e : e の標準偏差

σ_θ : θ の標準偏差

σ_ω : ω の標準偏差

$\sigma_{ox'}$: 撮像面上のX'座標軸方向の観測誤差の標準偏差

$\sigma_{oy'}$: 撮像面上のY'座標軸方向の観測誤差の標準偏差

各標準偏差は、各パラメータの誤差分散の平方根から求める。誤差分散はレーン形状パラメータをカルマンフィルタで更新する時に得られる推定誤差の共分散行列の対角要素を使用する。

【0053】ただし、レーン境界位置の観測データが少なくレーン形状パラメータの分散値が大きい場合、図10

に示すように撮像面上に投影した左右レーン境界位置の推定範囲が重なる。この重なった範囲内の線分は左右のレーン境界のどちらであるか判定困難である(図10の線分b)。判定を誤って観測データとして採用した場合、レーン形状の推定誤差が増大する。よって、左右レーン境界の推定範囲が重なった部分のエッジ線分はレーン境界候補としない。

【0054】次に、候補エッジ線分の中で、式(5)で推定したレーン境界との角度の差が予め設定した閾値を越えるものを候補エッジ線分から外す(図10の線分a)。

「レーン境界選択」次に、曲線照合により得られた白線または非白線のレーン境界の候補のエッジ線分がレーン境界選択へ入力される。レーン形状パラメータの分散が十分小さくなっていない場合、レーン境界に平行な近傍のエッジ線分も同時に選択することがある。この例として、車の通った轍や縁石の線が挙げられる。このように複数のレーン境界候補が撮像面上の同じ場所で照合する場合、以下の2つの仮定により、図11に示すように、レーン境界の可能性の大きいエッジ線分を選択する。な

お、同じ場所で照合するエッジ線分候補が1つの場合は、それを選択する。

【0055】(1) 白線を構成するエッジ線分はレーン境界である可能性が高い。このとき、白線を構成するエッジ線分とは濃淡勾配の方向が互いに逆向きの平行なエッジ線分対である。

【0056】(2) 連続して長いエッジ線分は路側縁石等のレーン境界エッジ線分である可能性が高い。

【0057】「レーン形状計算」

(位置偏差、ヨー角、道路幅、縦揺れ) まず、レーン境界候補のエッジ線分リストから左右のレーン境界候補のエッジ線分で、始点または終点の撮像面上の座標系でY'座標値が予め設定した値以上のエッジ線分を選択する。選択したエッジ線分からレーン幅Wと画像の縦揺れφとヨー角θと位置偏差eを計算する。

$$x' = a_r y' + b_r$$

最後に、パラメータa_lとb_lとa_rとb_rを式(1)へ代入して、ω_rとφとθとeの観測値を求める。※

$$\theta = ((a_l b_r - a_r b_l) / (a_l - a_r)) / f$$

$$e = 0.5h(a_r + a_l)$$

$$\phi = ((b_r - b_l) / (a_l - a_r)) / f$$

$$\omega_r = h(a_r - a_l)$$

*【0058】選択した左レーン境界に対応するエッジ線分に撮像面上の座標系で直線を適合し、式(9)の左側エッジについての各パラメータa_l、b_lを求める。直線適合の計算はエッジ線分を構成する点の位置座標値に最小自乗法を適用して、a_l、b_lを求める。ただし、最小自乗法の計算に使用する点のデータは撮像面上の座標系でY'の大きい方(車体座標系のX座標値の小さい方)から設定した数以上は使用しない。

【0059】

【数9】

$$x' = a_l y' + b_l$$

(9)

同様に、選択した右レーン境界に対応するエッジ線分から、式(10)のパラメータa_r、b_rを求める。

【0060】

【数10】

(10)

※【0061】

【数11】

(11)

ただし、左レーン境界に対応するエッジ線分しかない場合は、前回のレーン形状パラメータによるφとω_rの推定値を採用し、式(12)からθとeを求める。

【0062】

【数12】

$$\theta = (a_l \phi f + b_l) / f$$

(12)

$$e = a_l h + 0.5\omega_r$$

また、右レーン境界に対応するエッジ線分しか得られなかった場合も、レーン形状パラメータによるφとω_rの推定値を採用し、式(13)からθとeを求める。

【0063】

【数13】

$$\theta = (a_r \phi f + b_r) / f$$

(13)

$$e = a_r h - 0.5\omega_r$$

(レーン境界が観測できる場合) このようにして、レーン境界が観測できた場合には、次にヨー角θと位置偏差eとレーン幅ω_rと画像の縦揺れφの観測値により、これらパラメータをカルマンフィルタの手法で更新する。カルマンフィルタは、システムが線形で、システムノイズおよび観測ノイズが白色雑音で、そのノイズの振幅分布が正規分布である場合に、状態量を最小2乗規範で推定する。さらに、カルマンフィルタの計算の過程から状★

$$p_{1,k+1} = A_{1,k} p_{1,k} + B_{1,k} u_{1,k}$$

この場合の行列A₁の各要素を式(16)に示す。

【0069】

★状態量の誤差分散が求められる。この誤差分散を前記曲線照合で利用している。

【0064】システムのダイナミクスと観測過程が決まれば、既知のカルマンフィルタの計算方法を適用することができる。よって、以下ではシステムのダイナミクスと観測過程の式を示す。

【0065】位置偏差とヨー角とレーン幅と縦揺れは3つの線形システムに分割される。以下では各システムの内容を示す。

【0066】一番目は、ヨー角θと位置偏差eを要素とする状態変数ベクトルの線形システムである。この状態変数ベクトルp₁を式(14)に示す。

【0067】

【数14】

$$p_1 = \begin{bmatrix} \theta \\ e \end{bmatrix}$$

(14)

p₁を更新するダイナミクスを式(15)に示す。他のダイナミクスと区別するため、数字の1を添字として付加した。

【0068】

【数15】

(15)

【数16】

$$A_1 = \begin{bmatrix} .1 & 0 \\ TV & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

このとき、Tは観測周期、Vは車速である。

【0070】行列B1の対角要素はカルマンフィルタの更新周期当たりのヨー角と位置偏差の変動分の標準偏差を設定する。p1の観測過程を式(17)に示す。他の*

$$y_{1,k} = C_{1,k}p_{1,k} + w_{1,k} \quad (17)$$

行列C1の内容を式(18)に示す。

【0072】

【数18】

$$C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

カメラの画素分解能より、ヨー角と位置偏差に付加され※

$$p_2 = \begin{bmatrix} w_r \end{bmatrix} \quad (19)$$

p2を更新するダイナミクスを式(20)に示す。他のダイナミクスとの区別のために数字の2を添字で付加する。

★20

$$p_{2,k+1} = A_{2,k}p_{2,k} + B_{2,k}u_{2,k} + D_{2,k}v_{2,k} \quad (20)$$

この場合の行列A2の各要素を式(21)に示す。

【0076】

【数21】

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

☆

$$D_2 = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

p2の観測過程を式(23)に示す。他の観測過程との区別のために数字の2を添字で付加する。

◆30

$$y_{2,k} = C_{2,k}p_{2,k} + w_{2,k} \quad (23)$$

行列C2の内容を式(24)に示す。

【0079】

【数24】

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

カメラの画素分解能より、レーン幅の観測値に付加される観測ノイズのw2の分散が設定できる。

【0080】3番目のシステムは画面の縦揺φを要素とする状態変数ベクトルの線形システムである。この場合の状態ベクトルp3を式(25)に示す。*

$$p_{3,k+1} = A_{3,k}p_{3,k} + B_{3,k}u_{3,k} \quad (26)$$

このとき、行列A3を式(27)に示す。

【0083】

【数27】

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

行列B3の要素はカルマンフィルタの更新周期当たりの

*観測過程との区別のために数字の1を添字で付加する。

【0071】

【数17】

※観測ノイズのω1の分散が設定できる。

10 【0073】2番目のシステムは、道路幅ωrを要素とする状態変数ベクトルの線形システムである。この状態変数ベクトルp2を式(19)に示す。

【0074】

【数19】

★【0075】

【数20】

☆本例では、レーン幅ωrの変動の標準偏差を行列B2に設定する。行列D2の要素を式(22)に示す。

【0077】

【数22】

◆【0078】

【数23】

*【0081】

【数25】

$$p_3 = \begin{bmatrix} \phi \end{bmatrix} \quad (25)$$

p3を更新するダイナミクスを式(26)に示す。他のダイナミクスとの区別のために数字の3を添字で付加する。

【0082】

【数26】

画面の縦揺れの変動分の標準偏差を設定する。

【0084】p3の観測過程を式(28)に示す。他の観測過程との区別のために数字の3を添字で付加する。

【0085】

【数28】

$$y_{3,k} = C_{3,k} p_{3,k} + w_{3,k}$$

(28)

行列C3の内容を式(29)に示す。

*【数29】

【0086】

*

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}$$

(29)

カメラの画素分解能より、画面の縦揺れに付加される観測ノイズの ω_3 の分散が設定できる。

※同じである。

【0087】(レーン境界エッジ線分が観測できない場合)レーン境界エッジ線分が観測できず、ヨー角 θ と位置偏差 e とレーン幅 ω_r と画像の縦揺れ ϕ の観測値が観測できない場合、観測値無しでカルマンフィルタの手法で更新する。この場合、線形システムは行列A1とA2とA3とD2の設定が前述と異なる。他の行列の設定は※

【0088】車両は道路中心を道路に沿って走行すると仮定し、ヨー角 θ と位置偏差 e を0へ収束させる項 η_1 と η_2 をダイナミクスへ付加する。この場合の行列A1の各要素を式(30)に示す。

【0089】

【数30】

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1-\eta_1 & 0 \\ TV & 1-\eta_2 \end{bmatrix}$$

(30)

レーン幅はほぼ一定値であると仮定し、レーン幅 ω_r を収束させる項 η_3 をダイナミクスへ付加する。この場合の行列A2の各要素を式(31)に示す。

★

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1-\eta_3 \end{bmatrix}$$

(31)

【0090】

【数31】

20 また、行列D2の内容を式(32)に示す。

【0091】

★

【数32】

$$D_2 = \begin{bmatrix} \eta_3 \omega_s \end{bmatrix}$$

(32)

このとき、 ω_s は予め設定したレーン幅の値である。一般に、高速道路では $\omega_s = 3.5$ [m]、一般道路では $\omega_s = 3.0$ [m]と設定すれば良い。

☆レーン幅 ϕ を収束させる項 η_4 をダイナミクスへ付加する。この場合の行列A3の各要素を式(33)に示す。

【0093】

【0092】画面の縦揺れもほぼ一定であると仮定し、☆

【数33】

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1-\eta_4 \end{bmatrix}$$

(33)

「道路曲率」レーン境界候補のエッジ線分から、撮像面上の座標系でY'座標値が設定値以下の点を設定数だけサンプルする。サンプルした点の撮像面上の座標系X'Y'座標値を観測値としてレーン形状パラメータa3とa2をカルマンフィルタの手法で更新する。

◆形システムのダイナミクスと観測過程を以下に示す。

【0095】a3とa2を要素とする状態変数ベクトルの線形システムを考える。この場合の状態ベクトルp4を式(34)に示す。

【0096】

【0094】カルマンフィルタの計算のために必要な線◆

【数34】

$$p_4 = \begin{bmatrix} a_3 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

(34)

p4を更新するダイナミクスを式(35)に示す。他のダイナミクスとの区別のために数字の4を添字で付加する。

*

$$p_{4,k+1} = A_{4,k} p_{4,k} + B_{4,k} u_{4,k}$$

(35)

行列A4の各要素を式(36)に示す。

※【数36】

【0098】

※

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 3TV & 1 \end{bmatrix}$$

(36)

行列B4の対角要素はカルマンフィルタの更新周期当たりのa3とa2の変動分の標準偏差を設定する。

【0099】p4の観測過程を式(37)に示す。他の観測過程との区別のために数字の4を添字で付加する。*

$$y_{4,k} = C_{4,k} p_{4,k} + w_{4,k} \quad (37)$$

行列C4の内容を式(38)に示す。

【0101】

※

$$C_4 = \begin{bmatrix} f_{s_1^2} & f_{s_1} \\ f_{s_2^2} & f_{s_2} \\ \vdots & \vdots \\ f_{s_m^2} & f_{s_m} \end{bmatrix} \quad (38)$$

このとき、次数mはサンプルした点の数である。また、 s_i はサンプルした点の車体座標上のX座標値で、式(39)で計算する。

★【0102】
【数39】

★

$$s_i = h/[y'_i/f - \phi] \quad (39)$$

この場合、 y' はサンプル点の撮像面上のY'座標値である。画像の縦揺れ ϕ はレーン形状パラメータの推定値を使用する。

☆その値はパラメータ θ と ωr に依存する量をサンプル点のX'座標値から差し引いた量である。

【0104】

【0103】観測値ベクトル y_4 を式(40)に示す。☆20

【数40】

$$y_4 = \begin{bmatrix} x'_1 - f[\theta + (e \pm 0.5w_r)/s_1] \\ \vdots \\ x'_i - f[\theta + (e \pm 0.5w_r)/s_i] \\ \vdots \\ x'_m - f[\theta + (e \pm 0.5w_r)/s_m] \end{bmatrix} \quad (40)$$

このとき、 x' はサンプル点の撮像面上のX'座標値である。±の符号は正の場合が右レーン境界、負の場合が左レーン境界である。

【0105】実画像による検討から、 $\omega_{4,i}$ の値を設定する。30

【0106】「遠方レーン境界が観測できない場合の道路曲率の計算」遠方レーン境界が観測できない場合、観測値無しでカルマンフィルタの手法で更新する。この場合、線形システムは行列A4の設定が前述と異なる。他の行列の設定は同じである。

【0107】一般路では曲線路が連続せず、曲線路から直線路へつながることを仮定して、道路曲率を表す a_3 と a_2 を減衰させる項 η_5 と η_6 をダイナミクスへ付加する。この場合の行列A4の各要素を式(41)に示す。40

【0108】

【数41】

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 - \eta_5 & 0 \\ 3TV & 1 - \eta_6 \end{bmatrix} \quad (41)$$

【第2実施形態】図12は、本発明の第2実施形態の一実施形態のブロック図である。図において、画像入力(車載TVカメラ)31は、道路画像を撮像して信号に変換する。また、前処理32と白線選択33と近傍曲線

照合34と近傍レーン形状計算35と遠方曲線照合36と遠方レーン形状計算37とは、例えばマイクロコンピュータで構成され、車載TVカメラ31からの信号を入力して画像処理を行ない、走行レーンを検出する。出力結果は図示していない外部装置へ送られ、ドライバー支援装置やドライバー警報装置や自律走行移動車の制御等へ適用される。各処理部の説明を以下に述べる。

【0109】また、車載カメラ31は車体の中心軸とカメラの中心軸が一致するように、水平に前向きで取り付けるものとして、以下の実施形態を記述する。

【0110】座標系とレーン形状の数式表現は第1実施形態と同じである。

【0111】「前処理」前処理部分は上述の第1実施形態と同じである。

【0112】「白線選択」白線選択は、上述の第1実施形態と同じであるが、得られた白線のエッジ線分リストと非白線のエッジ線分リストは、近傍曲線照合34および遠方曲線照合36の両方へと出力される。

【0113】「近傍曲線照合」近傍曲線照合では、白線抽出から入力された白線と非白線のエッジ線分リストから車両近傍の左右レーン境界候補のエッジ線分を選択する。前回の演算時の計算結果からレーン形状パラメータとその分散の推定値が得られていることを仮定する。

【0114】先ず、車両近傍のエッジ線分を探索すれば

良いので、始点または終点の撮像面上のY'座標値が予め設定した値以上となるエッジ線分を選択する。

【0115】次に、この後は、第1実施形態と同様に、レーン形状パラメータとその分散から推定されるレーン境界位置の範囲を撮像面上に投影する(式(8)参照)。そして、その範囲内にあるエッジ線分をレーン境界候補として絞り込む(図6参照)。図6に示すようにエッジ線分を予め設定した間隔で区切り、その節となる点a、点b、…がレーン境界位置の推定範囲内にあれば、そのエッジ線分をレーン境界候補とする。

【0116】このため、撮像面上のレーン境界の推定位置は式(3)と式(4)で計算する。レーン境界の推定接線角度は式(5)で計算する。さらに、画像上のレーン境界推定位置(x'c, y'c)から観測されるレーン境界までの距離の標準偏差σmは式(6)と式(7)と式(8)とから計算される。

【0117】白線抽出から入力された白線または非白線のエッジ線分リストの中のエッジ線分上の点a、点b、…が、距離ασm以内にあり、推定接線角度とエッジ線分上の点における接線角度との差が予め設定した閾値以下となるエッジ線分を選択し、左右レーン境界の候補とする。(この場合、αは1~3程度の値である。)ただし、ασmの値が予め設定した閾値より大きくなる箇所からはエッジ線分を選択しない。

【0118】次に、左右のレーン境界候補のエッジ線分を白線、非白線の順に、そして、各々をエッジ線分を構成する点数の多い順に整列させる。

*

$$\begin{aligned}\theta &= (a_1 b_r - a_r b_l) / (a_l - a_r) / f - 3a_3 x_c^2 - 2a_2 x_c \\ c &= 0.5h(a_r + a_l) + 2a_3 x_c^2 + a_2 x_c^2 \\ \phi &= (b_r - b_l) / (a_l - a_r) / f \\ w_r &= h(a_r - a_l)\end{aligned}\quad (42)$$

この場合、a3とa2は前回の演算時に推定されたレーン形状パラメータを使用する。また、xcはエッジ線分の車体座標系X座標値であるが、前回の演算時に推定されたレーン形状パラメータφとエッジ線分の撮像面上座標系Y'座標値y'から式(43)より計算する。

【0124】

【数43】

※40

$$c_w = 1 / [(c_{li})^2 + (c_{lr})^2] \quad (44)$$

ただし、

cω: 距離にかかる重み付け

l1: 左側のエッジ線分に含まれる点の数に関する重み付け。点の数に対応して大となるように設定

l r: 右側のエッジ線分に含まれる点の数に関する重み付け。点の数に対応して大となるように設定

*【0119】最後に、以下の処理により、一对の左右レーン境界候補のエッジ線分へ絞り込む。整列させた左レーン境界候補のエッジ線分から順に予め設定した数だけ取り出し、撮像面上の座標系で直線を適合し、式(9)の各パラメータa1、b1を求める。直線適合の計算は線分を構成する点の位置座標値に最小自乗法を適用して、a1、b1を求める。ただし、最小自乗法の計算に使用する点のデータは撮像面上の座標系でY'の大きい方(車体座標系のX座標値の小さい方)から設定した数以上は使用しない。

【0120】同様に、整列させた右道路端候補のエッジ線分から順に予め設定した数だけ取り出し、式(10)のパラメータar、brを求める。

【0121】次に、予め設定した数だけ選択した左右レーン境界候補のエッジ線分の全ての組合せの各パラメータa1、b1、ar、brから道路幅ωrと画像の縦揺れφとヨー角θと位置偏差eとを計算し、さらにその推定値からの重み付きユークリッド距離dを計算する。重み付きユークリッド距離dが最小となり、予め設定した閾値より小さくなるエッジ線分の組合せから求められるωrとφとθとeを観測値として採用する。

【0122】左右レーン境界候補のエッジ線分の組合せからωrとφとθとeを計算する式を式(42)に示す。

【0123】

【数42】

$$z_w = h / (b / f - \phi) \quad (43)$$

左右レーン境界候補のエッジ線分の組合せから重み付きユークリッド距離dを計算する場合の式を式(44)、式(45)に示す。このとき、cωは重みである。

【0125】

【数44】

c1: 左側のエッジ線分の特徴に関する重み付け。非白線より白線の場合の方が大となるように設定

c r: 右側のエッジ線分の特徴に関する重み付け。非白線より白線の場合の方が大となるように設定。

【0126】

【数45】

$$d = \sqrt{c_w \left[\frac{(\theta - \theta_p)^2}{\sigma_\theta^2 + 9x_c^4 \sigma_{a_3}^2 + 4x_c^2 \sigma_{a_2}^2} + \frac{(e - e_p)^2}{\sigma_e^2 + 4x_c^6 \sigma_{a_3}^2 + x_c^4 \sigma_{a_2}^2} + \frac{(\omega_r - \omega_{rp})^2}{\sigma_{\omega_r}^2} + \frac{(\phi - \phi)^2}{\sigma_\phi^2} \right]} \quad (45)$$

左レーン境界候補のエッジ線分のみから θ と e を計算する場合の式を式(46)に示す。このとき、 ϕ と ω_r は前回の演算時の推定値を採用する。

【0127】

【数46】

$$\begin{aligned} \theta &= (a_1 \phi f + b_1) / f \\ e &= a_1 h + 0.5 \omega_r \end{aligned}$$

(46)

10

*

*左レーン境界候補のエッジ線分のみから重み付きユークリッド距離 d を計算する場合の式を式(47)、式(48)に示す。

【0128】

【数47】

$$c_w = 1 / [(a_1 h)^2]$$

(47)

【数48】

$$d = \sqrt{c_w \left[\frac{(\theta - \theta_p)^2}{\sigma_\theta^2 + 9x_c^4 \sigma_{a_3}^2 + 4x_c^2 \sigma_{a_2}^2} + \frac{(e - e_p)^2}{\sigma_e^2 + 4x_c^6 \sigma_{a_3}^2 + x_c^4 \sigma_{a_2}^2} \right]} \quad (48)$$

右レーン境界候補のエッジ線分のみから θ と e を計算する場合の式を式(49)に示す。このとき、 ϕ と ω_r は前回の演算時の推定値を採用する。

※【0129】

【数49】

$$\begin{aligned} \theta &= (a_1 \phi f + b_1) / f \\ e &= a_1 h - 0.5 \omega_r \end{aligned}$$

(49)

左レーン境界候補のエッジ線分のみから重み付きユークリッド距離 d を計算する場合の式を式(50)、式(51)に示す。

20★【数50】

$$c_w = 1 / [(a_1 h)^2]$$

(50)

【数51】

【0130】

★

$$d = \sqrt{c_w \left[\frac{(\theta - \theta_p)^2}{\sigma_\theta^2 + 9x_c^4 \sigma_{a_3}^2 + 4x_c^2 \sigma_{a_2}^2} + \frac{(e - e_p)^2}{\sigma_e^2 + 4x_c^6 \sigma_{a_3}^2 + x_c^4 \sigma_{a_2}^2} \right]} \quad (51)$$

「近傍レーン形状計算」近傍曲線照合34で得た観測値により、車両近傍レーン形状に関わるパラメータ、ヨー角 θ と位置偏差 e とレーン幅 ω_r と画像の縦揺れ ϕ の現時刻の推定値とその誤差分散をカルマンフィルタの手法で更新する。

【0131】システムのダイナミクスと観測過程が決まれば、既知のカルマンフィルタの計算方法を適用することができる。これについては、第1実施形態におけるレーン形状計算と同一である。

【0132】「遠方曲線照合」遠方曲線照合36では、白線抽出から入力された白線または非白線のエッジ線分リストから、現在の道路画像に基づいて近傍レーン形状計算35により更新されたレーン形状パラメータとその分散によりレーン境界の候補のエッジ線分を選択し直す。現在の道路画像に基づいてレーン形状パラメータとその分散が更新されているため、近傍曲線照合34に比べてよりレーン境界候補の探索範囲が限定される。

【0133】まず、車両近傍のエッジ線分を探索する必要があるため、始点または終点の撮像面上の Y' 座標値が予め設定した値以下となるエッジ線分を選択する。この後の曲線照合の手法は、近傍曲線照合34と同様である。

【0134】すなわち、次に、上述の場合と同様に、レーン形状パラメータとその分散から推定されるレーン境

界位置から範囲内のエッジ線分を選択した後白線を抽出し、左右のレーン境界候補のエッジ線分を白線、非白線の順、かつ各々のエッジ線分を構成する点数の多い順に整列させる。

【0135】「遠方レーン形状計算」遠方曲線照合36で選択されたレーン境界候補のエッジ線分を構成する点から、撮像面上の座標系の Y' 座標値が設定値以下となる点を予め設定された数だけサンプルする。サンプルした点の撮像面上の座標系の X' 、 Y' 座標値を観測値としてレーン形状パラメータ a_3 と a_2 の現時刻の推定値とその誤差分散をカルマンフィルタの手法で更新する。遠方レーン形状計算37で更新された a_3 と a_2 と、近傍レーン形状計算35で更新されたパラメータ、ヨー角 θ と位置偏差 e とレーン幅 ω_r と画像の縦揺れ ϕ の現時刻の推定値とその誤差分散が出力として、ここでは示さないが外部装置への出力となる。

【0136】さらに、カルマンフィルタの手法により、次の時刻の道路形状パラメータ a_3 と a_2 とヨー角 θ と位置偏差 e とレーン幅 ω_r と画像の縦揺れ ϕ の推定値とその誤差分散が予測されて、近傍曲線照合34へ出力される。

【0137】以下では、カルマンフィルタの計算のために必要な線形システムのダイナミクスと観測過程を以下に示す。

30

40

50

【0138】 a 3とa 2を要素とする状態変数ベクトルの線形システムを考える。この場合の状態ベクトルp 4を式(52)に示す。

【0139】

【数52】

$$p_4 = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (52)$$

p 4を更新するダイナミクスを式(53)に示す。他の*

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1-\eta_7 T V & 0 \\ 3TV & 1 \end{bmatrix} \quad (54)$$

このとき、 η_7 は道路曲率変化を表すa 3を減衰させる項である。

【0142】 行列B 4の対角要素はカルマンフィルタの更新周期当たりのa 3とa 2の変動分の標準偏差を設定する。

※

$$y_{4,k} = C_{4,k} p_{4,k} + w_{4,k} \quad (55)$$

行列C 4の内容を式(56)に示す。

【0145】

【数56】

$$C_4 = \begin{bmatrix} f_{s1}^1 & f_{s1} \\ f_{s2}^1 & f_{s2} \\ \vdots & \vdots \\ f_{sm}^1 & f_{sm} \end{bmatrix} \quad (56)$$

このとき、次数mはサンプルした点の数である。また、 s_i はサンプルした点の車体座標上のX座標値で、式 ★30

$$y_4 = \begin{bmatrix} x_1' - f[\theta + (c \pm 0.5w_r)/s_1] \\ \vdots \\ x_i' - f[\theta + (c \pm 0.5w_r)/s_i] \\ \vdots \\ x_m' - f[\theta + (c \pm 0.5w_r)/s_m] \end{bmatrix} \quad (58)$$

このとき、 x' はサンプル点の撮像面上のX' 座標値である。±の符号は正の場合が右レーン境界、負の場合が左レーン境界である。

【0149】 実画像による検討から、 $w_{4,i}$ の値を設定する。

【0150】 [第3実施形態]

「全体構成」上述の第2実施形態では、道路画像を大きく近傍と遠方に分割し、近傍の道路画像を優先的に処理することにより誤認を防いでいた。道路画像をより細分化して、自車近傍から遠方へ向けて順に処理していくことにより、さらに誤認を減らすことが可能である。この考えに基づく第3実施形態を以下に示す。

【0151】 図13は、本発明の第3実施形態のブロック図である。図13において、車載TVカメラ41は、

*ダイナミクスとの区別のために数字の4を添字で付加する。

【0140】

【数53】

$$p_{4,k+1} = A_{4,k} p_{4,k} + B_{4,k} u_{4,k} \quad (53)$$

行列A 4の各要素を式(54)に示す。

【0141】

【数54】

※【0143】 p 4の観測過程を式(55)に示す。他の観測過程との区別のために数字の4を添字で付加する。

【0144】

【数55】

20★(57)で計算する。

【0146】

【数57】

$$s_i = h/|v_i/f - \phi| \quad (57)$$

この場合、 y' はサンプル点の撮像面上のY' 座標値である。 ϕ はレーン形状パラメータの推定値を使用する。

【0147】 観測値ベクトル y_4 を式(58)に示す。その値はパラメータ θ と e と w_r に依存する量をサンプル点のX' 座標値から差し引いた量である。

【0148】

【数58】

道路画像を撮像して信号に変換する。前処理42と、曲線照合43、45、47と、レーン形状計算44、46、48は、例えばマイクロコンピュータで構成され、車載カメラ41からの信号を入力して画像処理を行い、走行レーンを検出する。

【0152】 ここで、曲線照合43、45、47は、それぞれがほぼ同等の処理を実行するため、単一の曲線照合により、繰り返し処理を実施してもよい。同様に、レーン形状計算44、46、48も、単一のレーン形状計算により繰り返し処理を実施してもよい。また、図中の点線部分は図示していないが、曲線照合45とレーン形状計算46と同等のブロックが複数個並んでいる。出力結果は図示していないが外部装置へ送られ、ドライバー支援装置やドライバー警報装置や自律走行移動車の制御

等へ適用される。

【0153】各処理部の説明を以下に述べる。なお、本実施形態では、車載TVカメラ41は車体の中心面上に、水平に前向きで取り付けられるものとする。

【0154】「座標系」以下の説明のため、座標系として、道路座標系と車体座標系と撮像面上の座標系の3つの直交座標系を定義する。

【0155】撮像面上の座標系(x, y)はカメラの撮像面中心を原点に設定する。縦方向をx軸に、横方向をy軸にとる。

【0156】道路座標系(X, Y, Z)はレーンの形状を表すためのものである。図に示すように、車載カメラのレンズ中心位置を基準にレーン中央の路面上に原点を設定する。レーン境界の接線方向をZ軸、路面に垂直な方向をX軸、右方向にY軸をとり、カメラのレンズ中心位置がZ=0となるように設定する。

【0157】車体座標系(X', Y', Z')はカメラレンズ中心を原点として、レンズ主軸方向にZ'軸を、撮像面上のx軸に平行にX'軸をとり、撮像面上のy軸*

*に平行にY'軸をとる。

【0158】なお、本実施形態では、自車位置姿勢は車載されたカメラ位置姿勢と一致するものとする。以上の座標系を図14に示す。

【0159】次に、自車位置姿勢を表現するパラメータとして、レーンに対するカメラ高さh、位置偏差e、ヨー角θ、ピッチ角φ、ロール角ψを設定する。道路座標系と車体座標系との関係は以上のパラメータにより決まる。車体座標系は、道路座標系を(h, e, 0)だけ並進した後、θ、φ、ψの順に回転させた座標系である。θはYZ平面に射影したZ'軸とZ軸との間の角度、φはZ'とYZ平面との間の角度、ψはZ'軸回りの回転角である。

【0160】このような座標系では、道路座標系上の点(X, Y, Z)は、式(74)～式(76)により車体座標系上の点(X', Y', Z')へ変換される。

【0161】

【数59】

$$X' = R_{11}(X - h) + R_{12}(Y - e) + R_{13}Z \quad (74)$$

$$Y' = R_{21}(X - h) + R_{22}(Y - e) + R_{23}Z \quad (75)$$

$$Z' = R_{31}(X - h) + R_{32}(Y - e) + R_{33}Z \quad (76)$$

このとき、上記R_{ij} (i, j = 1～3) は、それぞれ式 ※【0162】
(77)～式(85)で表現される。 ※ 【数60】

$$R_{11} = \cos \phi \cos \psi \quad (77)$$

$$R_{12} = -\cos \theta \sin \psi - \sin \theta \sin \phi \cos \psi \quad (78)$$

$$R_{13} = \sin \theta \sin \psi - \cos \theta \sin \phi \cos \psi \quad (79)$$

$$R_{21} = \cos \phi \sin \psi \quad (80)$$

$$R_{22} = \cos \theta \cos \psi - \sin \theta \sin \phi \sin \psi \quad (81)$$

$$R_{23} = -\sin \theta \cos \psi - \cos \theta \sin \phi \sin \psi \quad (82)$$

$$R_{31} = \sin \phi \quad (83)$$

$$R_{32} = \sin \theta \cos \phi \quad (84)$$

$$R_{33} = \cos \theta \cos \phi \quad (85)$$

また、車体座標系上で表された3次元空間上の点(X' , Y' , Z')の撮像面上の座標系(x , y , z)への変換は、以下の投影変換で表現される。ただし、この式における F_x と F_y は、TVカメラの焦点距離に関する係数である。

【0163】

【数61】

$$x = F_x X' / Z' \quad (86)$$

$$y = F_y Y' / Z' \quad (87)$$

「道路モデル」道路の構造は、道路構造令によって、平面曲線と縦断曲線として規格化されている。平面曲線は*

$$X = c_0 Z_c^2 / 2 \quad (88)$$

$$Y = c_0 Z_c^2 / 2 + c_1 Z_c^3 / 6 + \kappa W \cos \xi \quad (89)$$

$$Z = Z_c - \kappa W \sin \xi \quad (90)$$

このとき、

Z_c : レーン中心線のZ座標値、

ξ : レーン中心線の接線角度、

c_v : 縦断曲線の曲率、

c_0 : 平面曲線の曲率、

c_1 : 平面曲線の曲率変化率、

W : レーン幅の1/2、

k : 観測するレーン境界によって決まる定数。左レーン境界の場合は-1、右レーンの境界の場合は1である。

【0167】なお、 X をZ座標の2次式としたため、路面勾配変化は、平面から2次曲線まで対応可能になっている。また、 Y 及び Z の式には、レーン幅の1/2である変数 W を入れてあり、レーン幅を考慮できるようになっている。

【0168】このとき、平面曲線の接線角度 ξ は、次式で計算できる。

【0169】

【数63】

$$\xi = \arctan(c_0 Z_c + c_1 Z_c^2 / 2) \quad (91)$$

「全体の処理の流れ」本実施形態の特徴は、入力された1枚の道路画像に対して、モデルとの照合とパラメータ推定を繰り返して実施する点である。この手順の概要を以下に示す。なお、ここではレーン境界が左右に2つの観測する場合で説明したが、レーン境界を3つ以上観測する場合でも同様の手順で処理できる。

【0170】S1. 画像入力41により、道路画像を入力する。

【0171】S2. 前処理42により、エッジ等の画像

*円弧と、直線と、これらを滑らかに接続するためのクロソイド曲線で表される緩和曲線と、から構成される。また、縦断曲線は直線と放物線により構成される。

【0164】本実施形態では、平面曲線の平面曲線の曲率半径が100m以上の道路を想定する。ただし、バンクに相当する片勾配は無視できると仮定する。この場合、制動停止距離程度のレーン形状は、その平面曲線は3次、縦断曲線は2次の多項式で十分表現できる。

【0165】以上より、レーン形状を次式で表現する。

10 ここで、 Z_c はレーンの中心線のZ座標値である。

【0166】

【数62】

特徴を抽出する。

【0172】S3. 曲線照合43にて、前回の道路画像に基づいて更新したモデルのパラメータの推定値とその共分散行列から、現在のパラメータの推定値とその共分散行列の推定値を計算する。そして、得られた現在のパラメータの推定値とその共分散行列に基づいて、 $Z_{c,i}$ に対応するレーン境界の撮像面上の予測位置(x_p , y_p)と照合範囲を計算する(このとき、 $k=1$)。この照合範囲内からレーン境界候補の座標値(x , y)を検出し、その位置を観測する。

30

【0173】S4. レーン形状計算44にて、レーン境界候補についての観測結果から、パラメータの推定値とその共分散行列を更新する。

【0174】S5. S3と同様に、曲線照合45にて、 $Z_{c,i}$ に対応する隣のレーン境界候補を観測する(このとき、 $k=-1$)。

【0175】S6. S4と同様に、レーン形状計算46にて、レーン境界候補の観測結果から、パラメータの推定値とその共分散行列を更新する。

40

【0176】S7. 3~6と同様に、 $Z_{c,i+1}$ ($Z_{c,i+1} > Z_{c,i}$)に対応するレーン境界候補を観測し、パラメータの推定値と、その共分散行列の更新を繰り返す。すなわち、図15に示すように、車両の近傍から遠い方に向けてモデルとの照合を順次行う。

【0177】S8. S1へ戻る。

【0178】「パラメータ更新の考え方」以下では、パラメータ更新の考え方を示す。本実施形態では、前記した自車位置姿勢パラメータと、レーン形状パラメータと、車両の走行状況のパラメータと、を要素として含む12次元状態ベクトル p を設定し、この最尤推定量を

50

カルマンフィルタで計算する。カルマンフィルタとは、観測値から状態ベクトル p_k の最尤推定量 \hat{p} を求めるフィルタである。

* 【0179】
【数64】

*

$$P = [W \ h \ c \ \phi \ \phi \ c_0 \ c_1 \ c_2 \ V \ \theta \ \beta]^T \quad (92)$$

このとき、

V : 車速、
 θ : ヨーレイト、
 β : 滑り角。

また、ここでは車速 V は状態ベクトルの1要素と想定しているが、車輪の回転数に基づいて設定しても良い。また、計算コスト削減のために W (レーン幅の $1/2$) と h (カメラ高さ) を一定値と設定してもよい。さらに、車両の走行状態が急変しないものと仮定して、 θ (ヨーレイト) と β (滑り角) の推定をやめて計算コストを削減してもよい。

* 【0181】

$$d = -(x - x_p) \cos \omega + (y - y_p) \sin \omega \quad (93)$$

このとき、現在のパラメータのまわりで線形化して、距離 d を観測値とするカルマンフィルタを構成する。これにより、 d を観測値として、パラメータ推定値とその誤差共分散を更新する式が得られる。

10 * 【0180】 図17に示すように、撮像面上の座標系で、道路モデルから予測されたレーン境界上の点 (x_p, y_p) における接線1を考える。このとき、接線1から、点 (x_p, y_p) 近傍のレーン境界候補の観測位置 (x, y) までの距離 d (観測位置から接線1への垂線の長さ) は、次式で計算される。

20 * 【0182】 このとき、接線1の傾き ω は次式で計算できる。

★ 【0183】
★ 【数65】

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\partial x}{\partial y} = \frac{\partial x}{\partial Z_c} / \frac{\partial y}{\partial Z_c} \\ &= \frac{F_x Z' (R_{11} \dot{X} + R_{12} \dot{Y} + R_{13} \dot{Z}) - X' (R_{31} \dot{X} + R_{32} \dot{Y} + R_{33} \dot{Z})}{F_y Z' (R_{21} \dot{X} + R_{22} \dot{Y} + R_{23} \dot{Z}) - Y' (R_{31} \dot{X} + R_{32} \dot{Y} + R_{33} \dot{Z})} \end{aligned} \quad (94)$$

ただし、

$$\dot{X} = \frac{\partial X}{\partial Z_c} = c_0 Z_c \quad (95)$$

$$\dot{Y} = \frac{\partial Y}{\partial Z_c} = c_0 Z_c + c_1 Z_c^2 / 2 + 2\kappa W (c_0 + c_1 Z_c) \cos^2 \xi \sin \xi \quad (96)$$

$$\dot{Z} = \frac{\partial Z}{\partial Z_c} = 1 - \kappa W (c_0 + c_1 Z_c) \cos^3 \xi \quad (97)$$

ここで、曲線照合43、15、17と、レーン形状計算44、46、48の構成を図16に示す。このように、曲線照合43において、現在のパラメータの推定値を計算する(b)とともに、その共分散行列の推定値を計算する(a)。次に、推定パラメータより (x_p, y_p) を推定し(d)、その近傍から共分散に基づいてレーン境界の観測位置 (x, y) を検出する(c)。

【0184】そして、距離 d を計算する(e)。そして、レーン形状計算44、46、48が、得られた値に☆

$$p_{k+1} = f_k(p_k) + u_k$$

このとき、

k : 更新回数、

p_k : 状態ベクトル、

u_k : システムに付加されるノイズのベクトル、

$$d_k = h_k(p_k) + v_k$$

このとき、

v_k : 観測ノイズ項のベクトル、

☆よって、カルマンフィルタによるフィルタリングを行い、パラメータ及び共分散行列を更新する(f)。そして、更新された値に基づいて、次の計算を行う。このようにして、近傍から遠方に向けて順次処理が行われる。

【0185】(カルマンフィルタの計算) 次に、カルマン・フィルターの構成を説明する。ここで、状態ベクトル p のダイナミクスは次式で表現されるものとする。

【0186】

(98)

◆ f_k : ダイナミクスを表現する関数。

【0187】また、観測値 d と状態ベクトル p の関係は次式で表現されるものとする。

◆ 【0188】

(99)

h_k : 観測過程を表現する関数。

50 【0189】さらに、 u_k と v_k は平均値0のガウス確

率ベクトルで、共分散行列が式(100)と(101)で表現されると仮定する。

【0190】以下では、関数 f と h は非線形であるため、状態推定値 p_k/k 、 $p_k/k-1$ で線形化して、線形カルマンフィルタを適用する。なお、このようなフィルタは、線形カルマンフィルタと区別して、拡張カルマンフィルタと呼ばれる。

【0191】

【数66】

$$E(u_k u_k^T) = Q_k \quad (100)$$

$$E(v_k v_k^T) = R_k \quad (101)$$

*

$$\hat{p}_{k+1/k} = f_k(\hat{p}_{k/k}) \quad (102)$$

$$H_k = \left(\frac{\partial h_k}{\partial p_k} \right)_{p=\hat{p}_{k/k-1}} \quad (103)$$

$$F_k = \left(\frac{\partial f_k}{\partial p_k} \right)_{p=\hat{p}_{k/k}} \quad (104)$$

$$P_{k+1/k} = F_k P_{k/k} F_k^T + Q_k \quad (105)$$

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T [H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k]^{-1} \quad (106)$$

$$\hat{p}_{k/k} = \hat{p}_{k/k-1} + K_k d_k \quad (107)$$

$$P_{k/k} = P_{k/k-1} - P_{k/k-1} H_k^T [H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k]^{-1} H_k P_{k/k-1} \quad (108)$$

(行列 H の計算) 次に、上述の計算に利用される行列 H の計算式を示す。まず、式(103)より、 H_k は、次のように表せる。

※

$$H_k = \left(\frac{\partial h_k}{\partial p_k} \right)_{p=\hat{p}_{k/k-1}} \simeq \left(\frac{\partial d_k}{\partial p_k} \right)_{p=\hat{p}_{k/k-1}} = \left(\frac{\partial d_k}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p_k} + \frac{\partial d_k}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial p_k} \right)_{p=\hat{p}_{k/k-1}} \quad (109)$$

また、式(93)を偏微分することにより、次式が得られる。

【0195】

【数69】

$$\frac{\partial d_k}{\partial x} = -\cos \omega \quad (110)$$

$$\frac{\partial d_k}{\partial y} = \sin \omega \quad (111)$$

そして、式(109)と式(110)と、式(111)より、次式が得られる。

*式(98)と(99)で表現されるシステムに対する拡張カルマンフィルタによる状態ベクトル p の最尤推定値 \hat{p} (p ハット)とその推定誤差共分散行列 P の更新は、式(102)～(108)で表される(参考文献: 片山徹著、応用カルマンフィルタ、朝倉書店刊(1983))。

【0192】ここで、 \hat{p} の初期値 \hat{p}^0 は自車がレーン中央を走行していると仮定して設定する。また、 P の初期値 P^0 はレーン境界が検出できるように大きめの値を設定しておく。

【0193】

【数67】

*

※【0194】

【数68】

【0196】

【数70】

$$H_k \simeq \left(-\cos \omega \frac{\partial x}{\partial p_k} + \sin \omega \frac{\partial y}{\partial p_k} \right)_{p=\hat{p}_{k/k-1}} \quad (112)$$

そして、行列 H の各要素は、式(86)と式(87)を状態ベクトル p の各要素で偏微分した値を式(112)へ代入することにより求めることができる。

【0197】以下に、 H の各要素の計算式を示す。 H は1行12列の行列であり、添字は行と列の番号を示す。

【0198】

【数71】

$$H_{11} = -\kappa F_x [(R_{12}Z' - R_{32}X') \cos \xi - (R_{13}Z' - R_{33}X') \sin \xi] \cos \omega / Z'^2 \\ + \kappa F_y [(Z'R_{12} - Y'R_{32}) \cos \xi - (Z'R_{22} - Y'R_{32}) \sin \xi] \sin \omega / Z'^2 \quad (113)$$

$$H_{12} = -F_x [R_{21}X' - R_{11}Z'] \cos \omega / Z'^2 \\ + F_y [-R_{21}Z' + R_{31}Y'] \sin \omega / Z'^2 \quad (114)$$

$$H_{13} = -F_x [R_{32}X' - R_{12}Z'] \cos \omega / Z'^2 \\ + F_y [-R_{22}Z' + R_{32}Y'] \sin \omega / Z'^2 \quad (115)$$

$$H_{14} = -F_x [X' \cos \phi (- (Y - e) \cos \theta + Z \sin \theta) \\ + Z' (- (Y - e) (- \sin \theta \sin \psi + \cos \theta \sin \phi \cos \psi) \\ + Z (\cos \theta \sin \psi + \sin \theta \sin \phi \cos \psi))] \cos \omega / Z'^2 \\ + F_y [Z' ((Y - e) (- \cos \theta \sin \phi \sin \psi - \sin \theta \cos \psi) + Z (\sin \theta \sin \phi \sin \psi - \cos \theta \cos \psi)) \\ - Y' \cos \phi ((Y - e) \cos \theta + Z \sin \theta)] \sin \omega / Z'^2 \quad (116)$$

$$H_{15} = -F_x [Z' (- (X - h) \sin \phi \cos \psi - (Y - e) \sin \theta \cos \phi \cos \psi \\ - Z \cos \theta \cos \phi \cos \psi) - X' ((X - h) \cos \phi - (Y - e) \sin \theta \sin \phi - Z \cos \theta \sin \phi)] \cos \omega / Z'^2 \\ + F_y [Z' (- (X - h) (\sin \phi \sin \psi) - (Y - e) (\sin \theta \cos \phi \sin \psi) - Z \cos \theta \cos \phi \sin \psi) \\ - Y' ((X - h) \cos \phi - (Y - e) \sin \theta \sin \phi - Z \cos \theta \sin \phi)] \sin \omega / Z'^2 \quad (117)$$

【数72】

$$H_{16} = -F_x [- (X - h) \cos \phi \sin \psi \\ + (Y - e) (- \cos \theta \cos \psi + \sin \theta \sin \phi \sin \psi) + Z (\sin \theta \cos \psi + \cos \theta \sin \phi \sin \psi)] \cos \omega / Z' \\ + F_y [(X - h) \cos \phi \sin \psi - (Y - e) (\sin \theta \sin \phi \cos \psi + \cos \theta \sin \psi) \\ + Z (\sin \theta \sin \psi - \cos \theta \sin \phi \cos \psi)] \sin \omega / Z' \quad (118)$$

$$H_{17} = -F_x [(R_{12}Z' - R_{32}X') (Z_c^2/2 + 2\kappa W Z_c \cos^2 \xi \sin \xi) \\ - (R_{13}Z' - R_{33}X') (\kappa W Z_c \cos \xi) (\cos^2 \xi - \sin^2 \xi)] \cos \omega / Z'^2 \\ + F_y [(R_{22}Z' - R_{32}Y') (Z_c^2/2 + 2\kappa W Z_c \cos^2 \xi \sin \xi) \\ + (R_{32}Y' - R_{22}Z') \kappa W Z_c \cos \xi (\cos^2 \xi - \sin^2 \xi)] \sin \omega / Z'^2 \quad (119)$$

$$H_{18} = -F_x [(R_{12}Z' - R_{32}X') (Z_c^3/6 + \kappa W Z_c^2 \cos^2 \xi \sin \xi) \\ - (R_{13}Z' - R_{33}X') (\kappa W \cos \xi (\cos^2 \xi - \sin^2 \xi) Z_c^2/2)] \cos \omega / Z'^2 \\ + F_y [(R_{22}Z' - R_{32}Y') (Z_c^3/6 + \kappa W Z_c^2 \cos^2 \xi \sin \xi) \\ + \kappa W Z_c^2/2 (-R_{22}Z' + Y'R_{32}) \cos \xi (\cos^2 \xi - \sin^2 \xi)] \sin \omega / Z'^2 \quad (120)$$

$$H_{19} = -F_x Z_c^2 [(R_{11}Z' + R_{21}X')] \cos \omega / (2Z'^2) \\ + F_y Z_c^2 [R_{21}Z' - R_{31}Y'] \sin \omega / (2Z'^2) \quad (121)$$

$$H_{110} = H_{111} = H_{112} = 0 \quad (122)$$

(関数 f と行列 F の計算) 次に、システムのダイナミク 50 ス (ある画像から次の画像へと移る場合のダイナミク

ス)を示す関数 f を状態ベクトル p の各要素で偏微分した行列 F (式(104)参照)の計算を示す。

【0199】同時刻の画像上のレーン境界を連続的に観測して、拡張カルマンフィルタにより状態ベクトル p 更新

$$p_{k+1} = p_k$$

また、観測値の時刻が更新されて新しい画像が入力された場合、状態ベクトル p のダイナミクスは自車の走行による自車位置姿勢の変化と道路の曲率変化によって生じる。ダイナミクスの設定にはいろいろな考え方があ

が、本実施形態では比較的簡単な式で表現した。 θ と e ※10

*新する場合は時間変化はないので、次式のように p の更新はなく、 F は単位行列となる。

【0200】

(123)

※のダイナミクスを式(124)～(125)で表現する。

【0201】

【数73】

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \dot{\theta}_k T - c_{0k} V_k T \cos(\beta_k + \theta_k) \quad (124)$$

$$e_{k+1} = e_k + V_k T \sin(\beta_k + \theta_k) - c_{0k} (V_k T \cos(\beta_k + \theta_k))^2 \quad (125)$$

c_0 のダイナミクスは c_0 と c_1 の関係により、式(126)で表現する。 ★【0202】

$$c_{0k+1} = c_{1k} V_k T \cos(\beta_k + \theta_k) \quad (126)$$

ただし、 θ と e と c_0 以外のパラメータのダイナミクスは無視できると仮定し、式(123)で表現する。 20 【0204】

【0203】以上の式を状態ベクトル p の要素で偏微分

【数74】

することにより、行列 F の各要素が計算できる。

$$F_{34} = VT \cos(\beta + \theta) - 2c_0(VT)^2 \cos(\beta + \theta) \sin(\beta + \theta) \quad (127)$$

$$F_{37} = (VT \cos(\beta + \theta))^2 \quad (128)$$

$$F_{310} = T \sin(\beta + \theta) - 2c_0 VT \cos^2(\beta + \theta) \quad (129)$$

$$F_{312} = VT \cos(\beta + \theta) - 2c_0(VT)^2 \cos(\beta + \theta) \sin(\beta + \theta) \quad (130)$$

$$F_{44} = 1 + c_0 VT \sin(\beta + \theta) \quad (131)$$

$$F_{47} = -VT \cos(\beta + \theta) \quad (132)$$

$$F_{410} = -c_0 T \cos(\beta + \theta) \quad (133)$$

$$F_{411} = T \quad (134)$$

$$F_{412} = c_0 VT \sin(\beta + \theta) \quad (135)$$

$$F_{74} = -c_1 VT \sin(\beta + \theta) \quad (136)$$

$$F_{77} = 1 \quad (137)$$

$$F_{78} = VT \cos(\beta + \theta) \quad (138)$$

$$F_{710} = c_1 T \cos(\beta + \theta) \quad (139)$$

$$F_{712} = -c_1 VT \sin(\beta + \theta) \quad (140)$$

また、上記以外の行列Fの要素は次式で表される。

【0205】

【数75】

$$F_{ij} = \begin{cases} 1 & ; (i=j) \\ 0 & ; (i \neq j) \end{cases} \quad (141)$$

(共分散行列) 共分散行列Qは状態ベクトルpの各要素の変動分を予め見積って、適当な量を設定する。ただし、同時刻の画像上のレーン境界を連続的に観測して、拡張カルマンフィルタに状態ベクトルp更新する場合は、時間変化はない。このため、この場合にはQは、零行列となる。また、観測ノイズの誤差共分散行列Rは画素分解能に基づいて設定する。

【0206】「前処理」本実施形態では前処理43でエッジ線分抽出を実施する。そこで、これについて説明す 50

る。エッジとは画像中の濃淡値が急激に変化する部分である。エッジ抽出は以下のステップで実施する。

【0207】S1. 濃淡画像取り込み

カメラにより取り込んだ濃淡画像をA/D変換により計算機に取り込む処理。1画面の画像情報がマトリックス状に配列された画素毎デジタル値として取り込まれる。

【0208】S2. Sobelフィルタ

取り込んだ濃淡画像にSobelフィルタを適用し、濃淡勾配の方向と大きさを演算する。

【0209】S3. 稜線抽出処理

濃淡勾配の大きさの嶺の部分(極大値の並び)を抽出する処理。

【0210】S4. 線分追跡処理

画像上の稜線を追跡し、エッジ線分のリスト(点列)として表現する。

【0211】このエッジ線分は最低以下の情報を持つものとする。これらの情報は後の処理で利用される。

【0212】

- ・エッジ線分の始点終点の撮像面上の座標値
- ・濃淡勾配の角度
- ・エッジ線分を構成する点の撮像面上の座標値

本実施形態では、車載TVカメラ41によって得られた道路画像全体を一括してエッジ抽出を実施しているが、高速化のために曲線照合43、45、47で設定された照合範囲近傍のみを局所的に前処理してもよい。

【0213】この場合は、エッジ線分抽出以外に相関演算によるパターンマッチング等を利用してよい。このような変形例のブロック図を図18に示す。このように、各曲線照合43、45、47の前段にそれぞれ前処理42、49、50が挿入配置される。

【0214】「曲線照合」曲線照合43、45、47の処理を以下に示す。

10

【0215】曲線照合43、45、47は、モデルから予測されたレーン境界位置(x_p , y_p)を中心として、後述する照合範囲内からレーン境界の候補の位置座標(x , y)を求める。このとき、観測値 d は式(93)より求められる。このとき p^* は式(102)で更新しておく。

【0216】また、照合範囲は距離 d の標準偏差の推定値として求められる。即ち、図17に示すように、接線1より距離 σ (dk) $\sim 3\sigma$ (dk)の範囲内を照合範囲と設定する。

【0217】距離 d の標準偏差の推定値 σ (dk)はパラメータの誤差共分散行列 P の撮像面上への投影の平方根と考えられるため、式(142)と式(143)で計算できる。このとき P は式(105)で更新しておく。

【0218】

【数76】

$$P_{k/k-1} = F_{k-1}P_{k-1/k-1}F_{k-1}^T + Q_{k-1} \quad (142)$$

$$\sigma(d_k) = \sqrt{H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k} \quad (143)$$

そして、レーン境界候補となるエッジ線分は以下の手順で選択する。

【0219】S1. 前処理42のエッジ線分情報により、照合範囲内のエッジ線分座標値(x , y)を得る。

【0220】S2. 前処理42のエッジ線分情報により、撮像面上の座標上のエッジ線分の濃淡勾配の角度と接線1に直交する角度とを比較し、その差が予め設定した値より大きい場合は除外する。

【0221】S3. 前処理のエッジ線分情報により、撮像面上の座標上のエッジ線分の始点終点間の長さを求め、それが予め設定した値より小さい場合は除外する。

【0222】S4. レーン境界候補となるエッジ線分が複数残っている場合は、各エッジ線分の座標値(x , y)を式(93)に代入して距離 d を求め、その大きさが最小の値を距離の観測値として採用する。

【0223】「レーン形状計算」レーン形状計算は、観測した距離 d により、 $p^*_{k/k}$ と $P_{k/k}$ を式(106) \sim (108)により更新する。

【0224】ただし、曲線照合によりレーン境界が探索できなかった場合、式(144)と式(145)に示すように、 $p^*_{k/k}$ と $P_{k/k}$ を更新する。この場合、誤差共分散 P は減少しない。

【0225】

【数77】

$$\hat{p}_{k/k} = \hat{p}_{k/k-1} \quad (144)$$

$$P_{k/k} = P_{k/k-1} \quad (145)$$

このようにして、レーン形状計算におけるパラメータの更新が行われる。

【0226】以上のように、第3実施形態によれば、道路画像を車両の近傍から遠方に向けて細かく分け、近傍から順次遠方に向けて処理を行う。従って、道路形状認識における誤認をより効率的に防止することができる。

【0227】

30 【発明の効果】以上に説明した如く、本発明においては、前処理によってエッジ線分を抽出した後、前の演算時のレーン形状パラメータとその分散値に基づいて画像上に曲線の帯状の探索領域を設定し、その領域内のエッジ線分をレーン境界候補として選択し、その選択エッジ線分によりレーン形状パラメータとその分散を更新する。そこで、レーン形状パラメータの分散に基づいて、探索領域の幅を適切に狭めることができ、紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる効果がある。さらに、曲線の帯状の探索領域を設定することにより、高速道路に比べてカーブの急な一般路での曲線エッジ線分の照合が容易になるという効果がある。また、白線を選択する機能を有する装置においては、一般的にレーン境界が白線であるという情報を利用して、紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる効果がある。

40 【0228】また、一般的に道路画像上では遠方より車両近傍の方がレーン境界と他の構造物(ガードレール、車両)との誤認が少ないという性質を利用して、近傍曲線照合手段と近傍レーン形状計算手段により車両近傍のレーン境界から車両近傍に関わるレーン形状を優先的に

50

処理することにより、遠方曲線照会手段と遠方レーン形状計算手段において遠方のレーン境界と紛らわしいエッジ線分との誤認を防ぎ、精度が向上できる効果がある。

【0229】さらに、近傍、遠方の2種類ではなく、道路画像を近郷から遠方にかけてより細分化して、自車近傍から遠方に向けて順次処理を実施することにより、さらに誤認を減らすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の請求項1の構成を示すブロック図である。

【図2】 本発明の請求項2の構成を示すブロック図である。

【図3】 本発明の請求項3の構成を示すブロック図である。

【図4】 近傍曲線照会と遠方曲線照会のレーン境界の探索範囲の例を示す図である。

【図5】 第1実施形態の構成を示すブロック図である。

【図6】 レーン境界の推定範囲を示す説明図である。

【図7】 車体座標系と撮像面上の X' 座標を示す説明図である。

【図8】 車体座標系と撮像面上の Y' 座標を示す説明図である。

【図9】 撮像面上のレーン境界位置座標($x'c$,

$y'c$)、道路端の接線角度 ωm 、観測される線分までの距離の標準偏差 σm を示す説明図である。

【図10】 レーン形状パラメータの分散が大きい場合に生じる照会の不具合を示す説明図である。

【図11】 レーン境界の推定範囲内でレーン境界候補のエッジ線分が重なった場合を示す説明図である。

【図12】 第2実施形態の構成を示すブロック図である。

【図13】 第3実施形態の構成を示すブロック図である。

【図14】 座標系の説明図である。

【図15】 モデルと照合する範囲とその順序を示す説明図である。

【図16】 曲線照会と、レーン形状計算の動作を示す説明図である。

【図17】 接線1と観測位置との距離を示す説明図である。

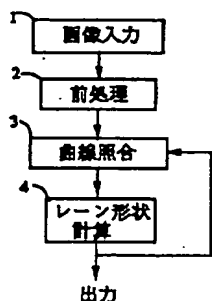
【図18】 照合範囲の説明図である。

【図19】 前処理を各々行う変形例のブロック図である。

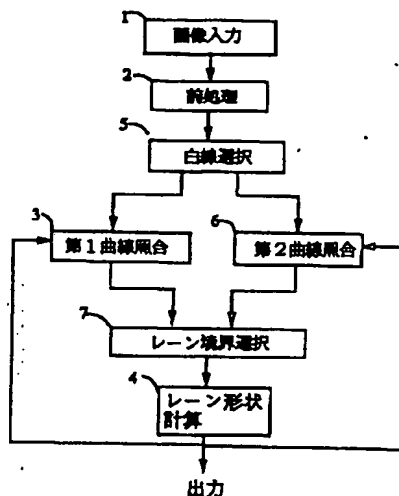
【符号の説明】

1 画像入力手段、2 前処理手段、3 曲線照会手段、4 レーン形状計算手段。

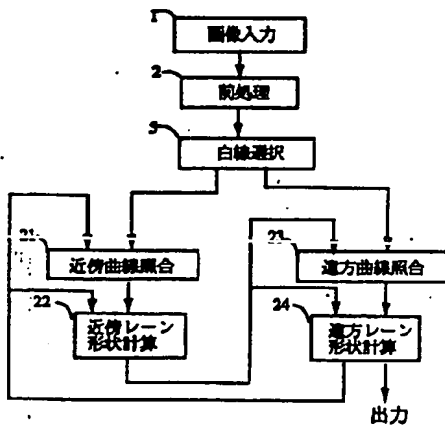
【図1】



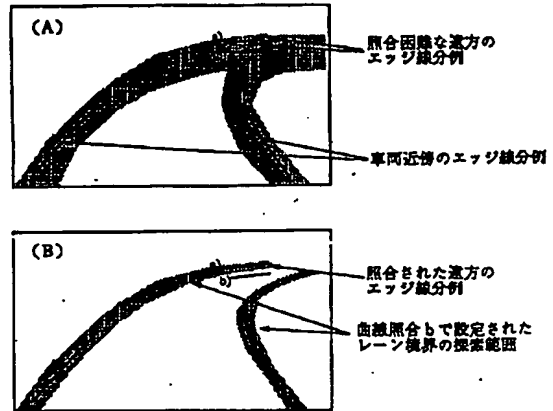
【図2】



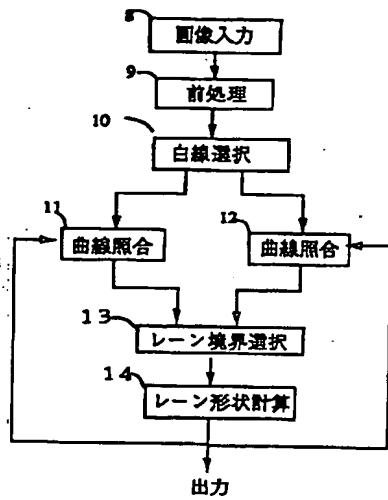
【図3】



【図4】

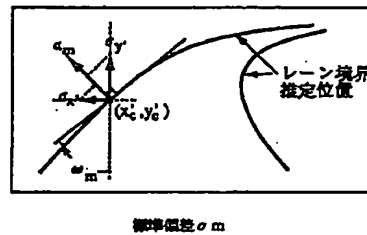


【図5】

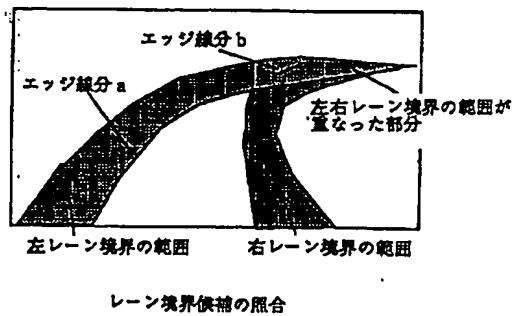


第1実施形態の構成

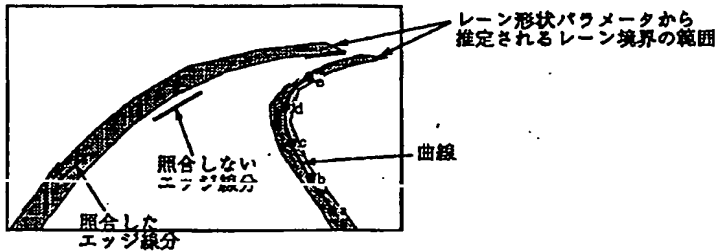
【図9】



【図10】

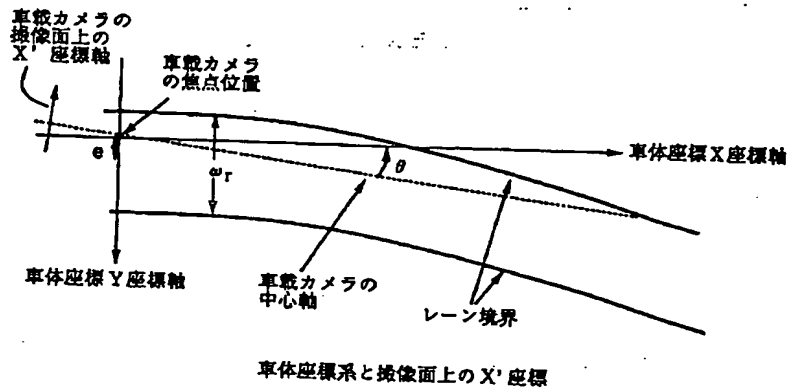


【図6】

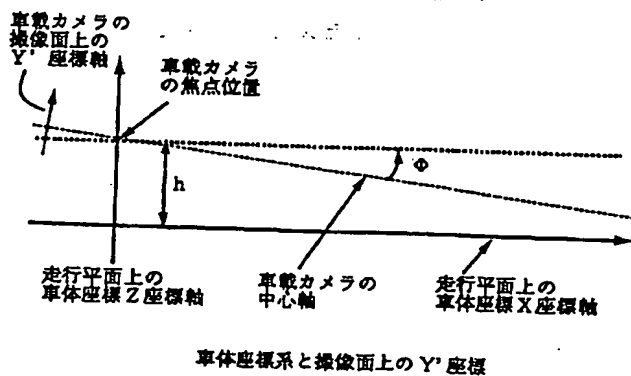


レーン境界の推定範囲

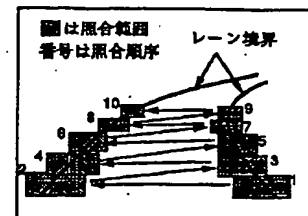
【図7】



【図8】

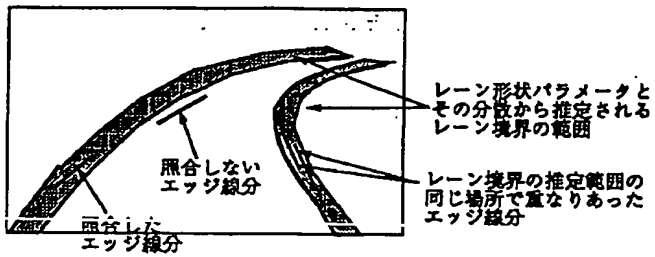


【図15】



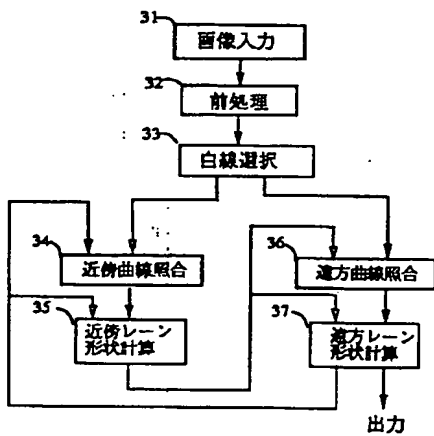
モデルと照合する範囲とその順序

【図11】



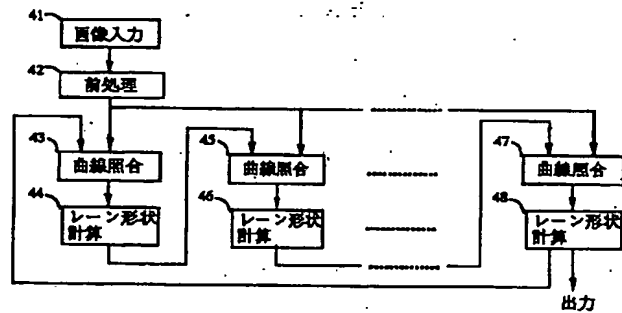
レーン境界の推定範囲の同じ位置でレーン境界候補のエッジ線分が重なる例

【図12】



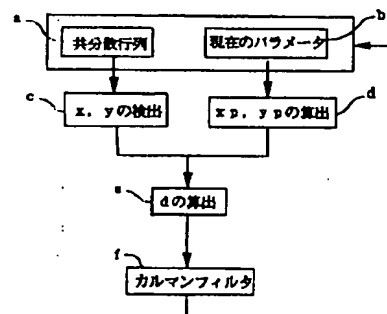
第2実施形態の構成

【図13】



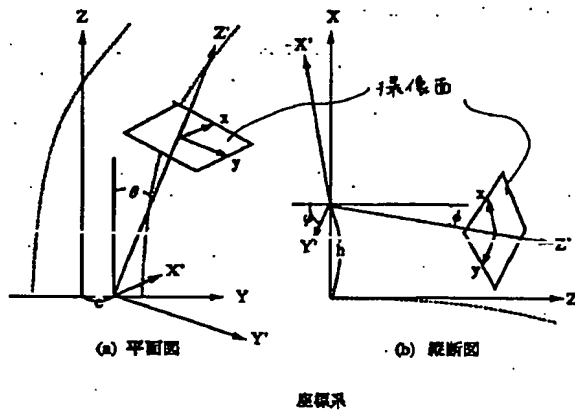
第3実施形態の構成

【図16】

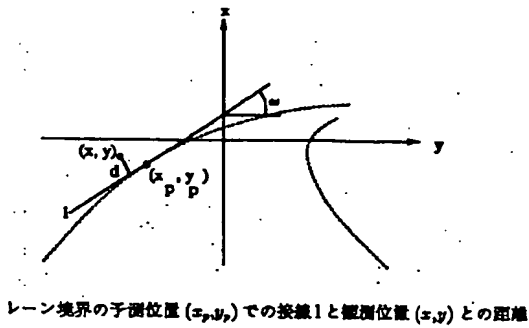


曲線照合及びレーン形状計算

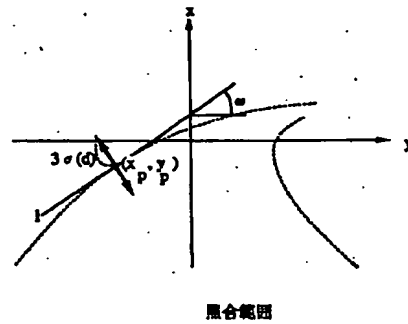
【図14】



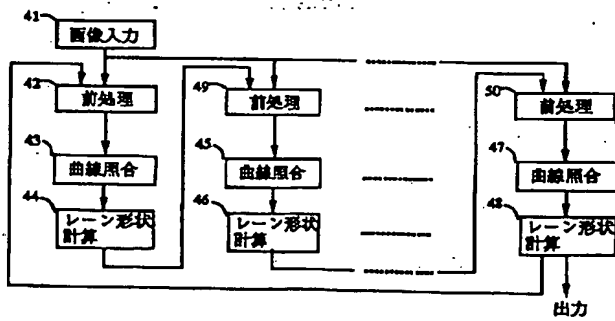
【図17】



【図18】



【図19】



道路形状の構成

フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 T 7/60			G 0 6 F 15/62	3 8 0
G 0 8 G 1/16		9061-5H	15/70	3 4 0
// G 0 5 D 1/02		9061-5H		3 5 0 M

(72)発明者 二宮 芳樹
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 里中 久志
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
車株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.